

電磁超音波センサ(EMAT)を用いた溶接残留応力の測定

早稲田大学 学生会員
早稲田大学 正会員

○相澤 宏行
小野 潔

大阪大学 非会員
長岡技術科学大学 正会員

荻 博次
宮下 剛

1. 緒言

鋼構造物が建設される時、部材と部材をつなぎ合わせるために機械的接合と冶金接合が用いられる。冶金接合の代表例は溶接であり、自重増加を防ぐことが可能なことから溶接は広く用いられている。一方、溶接部は母材が熔融するほど高温になる過程で膨張し周囲の温度に冷めるまでの間に収縮を起こすことでひずみを生じる。このひずみは溶接残留応力につながり、鋼部材の耐荷力を低下させる。したがって、溶接による構造物性能の低下を、構造物を破壊することなく把握する手法が求められる。

EMAT は電磁気学的なメカニズムによって超音波を発生させる装置である¹⁾。音弾性法則によると直交する偏向を持つ2つの横波の音速差は試料内の主応力差と線形関係にある。EMAT によって超音波を発生させ板厚方向に共振させると、共振周波数を求めることができる。周波数が音速と比例関係にあることを用いれば、2 方向に偏向する横波の共振周波数から試料に発生している主応力差を求める事ができる。

本文では溶接された部材に発生している残留応力を、EMAT を用いて非破壊で測定する方法を提案する。供試体として3枚の鋼板をすみ肉溶接で接合した十字継手を用意し、供試体の各点において EMAT で板厚方向の共振周波数を測定する。そして音弾性法則を通して、得られた周波数から供試体の各点に発生している残留応力を求める。

2. 供試体・EMAT・測定方法

供試体は SBHS400 製の鋼板を3枚すみ肉溶接によって接合したものである。供試体の外観を図-1に、供試体の寸法を図-2に示す。EMAT は測定範囲が 5mm×7mm のものを用いる。EMAT は受信用と送信用の2種類のコイルを搭載しており、1つのセンサで超音波の受信と送信両方可能である。EMAT をスーパーヘテロダイン回路に接続して超音波を発生させ、板厚方向に共振させた際の振幅スペクトルから共振周波数を求める。ここでは33次共鳴周波数を測定した。EMAT の外観を図-3に示す。

音弾性法則および周波数と波速の関係から、式(1)が導かれる。

$$B = \frac{f_n^{(1)} \cdot f_n^{(2)}}{(f_n^{(1)} + f_n^{(2)})/2} = B_0 + C_A(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (1)$$



図-1 供試体の外観

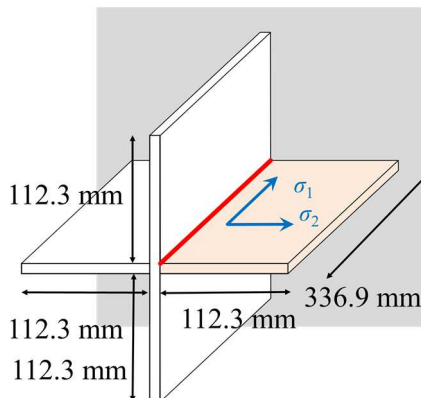


図-2 供試体寸法

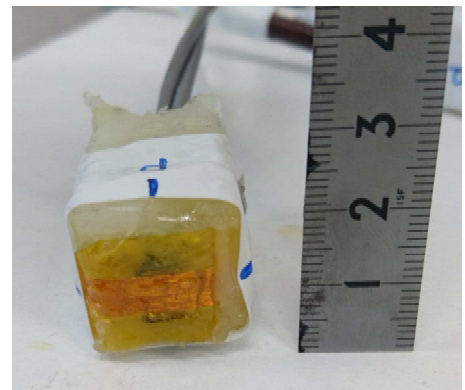


図-3 測定に用いたセンサ

キーワード EMAT, すみ肉溶接, 残留応力, SBHS

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学大学院 TEL 03-5286-3387

ここに、 B は音響複屈折量、 σ_1 と σ_2 はそれぞれ 2 方向の主応力、 $f_n^{(1)}$ と $f_n^{(2)}$ はそれぞれ σ_1 と σ_2 の方向に偏向した横波の板厚方向 n 次共振周波数、 C_A は音弾性定数、 B_0 は無応力状態の音響複屈折量である。今回添字 1 は溶接線に沿った方向、添字 2 は溶接線直角方向とする。 C_A は一般的な鋼材の値として -0.0000075 を、 B_0 は別に用意した SBHS400 製の参照材で測定された値 0.0266067 を用いる。各点で測定した 33 次共鳴周波数と上記の値を式(1)に代入することで各点における主応力差を測定する。

超音波による測定が終わったあとに、各測定点近傍を切断して残留応力を求めた。3 軸または 1 軸ひずみゲージを測定点に貼り付け、切断前と後のひずみの差から応力を求める一般的な応力解放法により行った。

3. 測定結果

図 - 4 に各板で得られた残留応力分布を示す。合わせて切断法による分布も示されている。R2 を除き、ある程度超音波による応力分布と切断による応力分布は一致している。一方、板端部においては 2 手法によって得られた応力値の差が数百 MPa であり、2 手法の分解能が異なるにしても乖離が大きい。R2 は分布の傾向自体が合わない。

4. 結言

超音波測定により溶接残留応力分布の大まかな傾向をつかむことができると明らかになった。一方板端部および溶接線付近で測定精度が疑われることと、場合によっては傾向自体が変わるようなエラーが発生しうることが分かった。今後より精度の高い測定手法の開発を目指す必要がある。

謝辞：本研究の一部は、「2016 年度 日本鉄鋼連盟 鋼構造研究・教育助成事業(鋼構造研究支援助成)」により実施したものです。ここに記して謝意を示します。

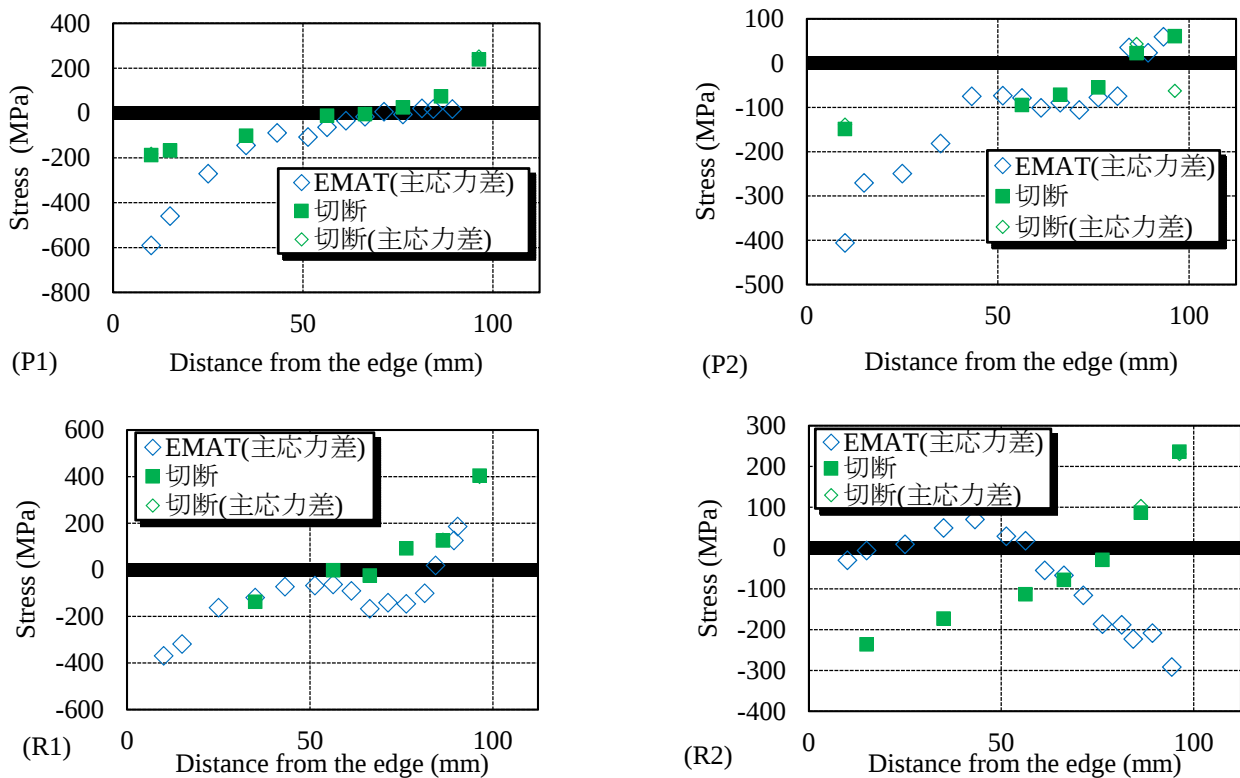


図 - 4 測定結果

参考文献

- 1) M. Hirao, H. Ogi, Electromagnetic Acoustic Transducers - Noncontacting Ultrasonic Measurements using EMATs, Springer, 2017.